



562 - 75

# **ejecución de puentes pretensados por voladizos sucesivos continuación**

CARLOS FERNANDEZ CASADO, *ingeniero de caminos*

## **sinopsis**

El sistema de construcción por voladizos sucesivos ha permitido ampliar, de modo extraordinario, las luces de los puentes de tramo recto de hormigón pretensado. Actualmente se construye el Puente de Bendorf con tramo central de 208 metros.

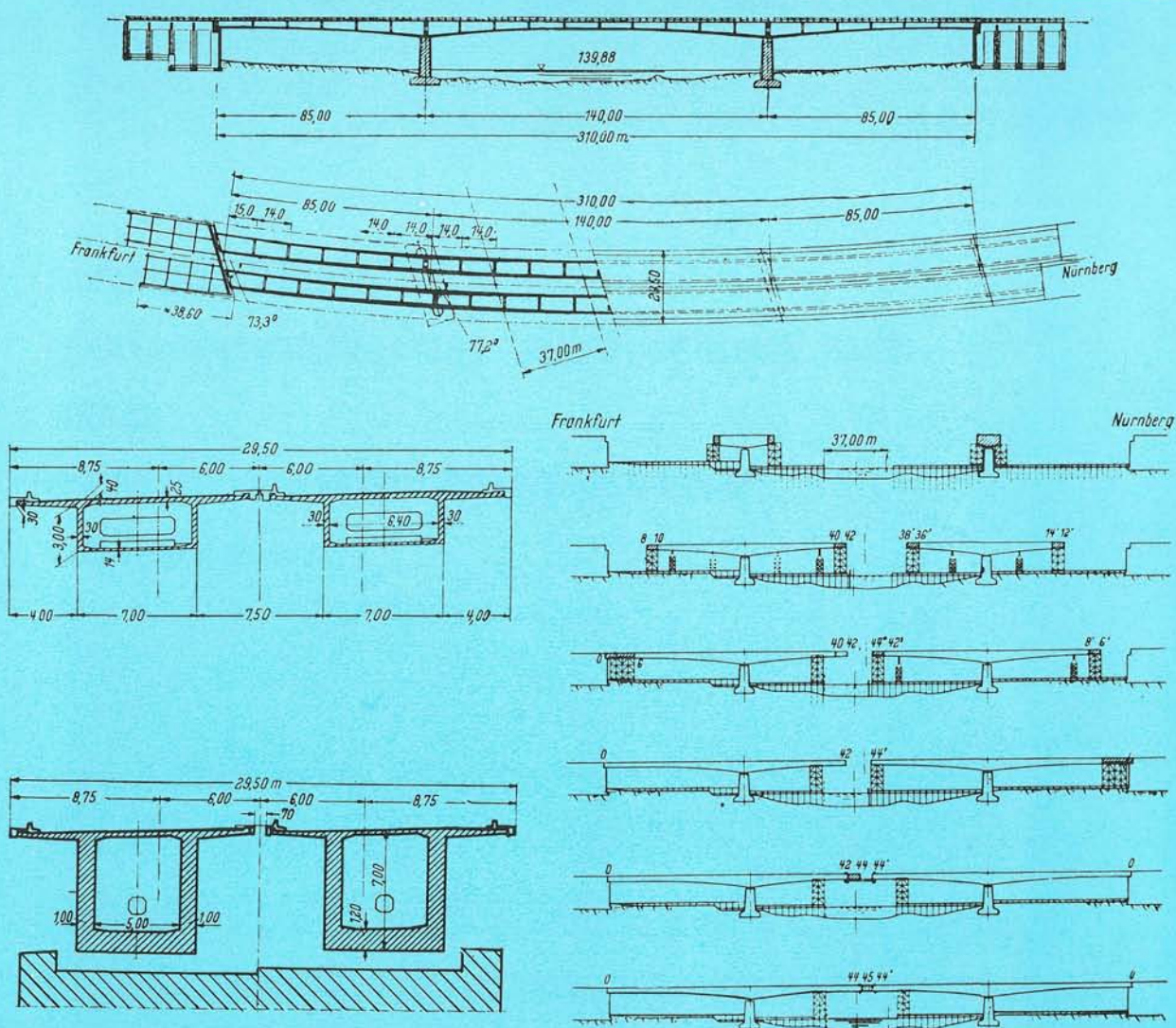
Se utilizó por primera vez en Brasil para la construcción de un puente de hormigón armado normal sobre el río Peixe, pero quedó en desuso—salvo poquísimas excepciones—hasta que lo volvió a poner a punto Firsterwalder, veinte años después, en el puente, sobre el Neckar, de hormigón pretensado. Con esta nueva técnica se conseguían todas las ventajas del sistema y una gran rapidez constructiva.

El sistema constructivo conduce directamente al tipo estructural de ménsulas compensadas, formando células T que se enlazan entre sí por articulación deslizante para integrar vanos de doble luz que el brazo de ménsula, pero puede aplicarse a casi todos los demás tipos: dintel con voladizos (que fue la primera nueva aplicación), pórtico de un solo vano, pórtico en T, tramos continuos, etc.

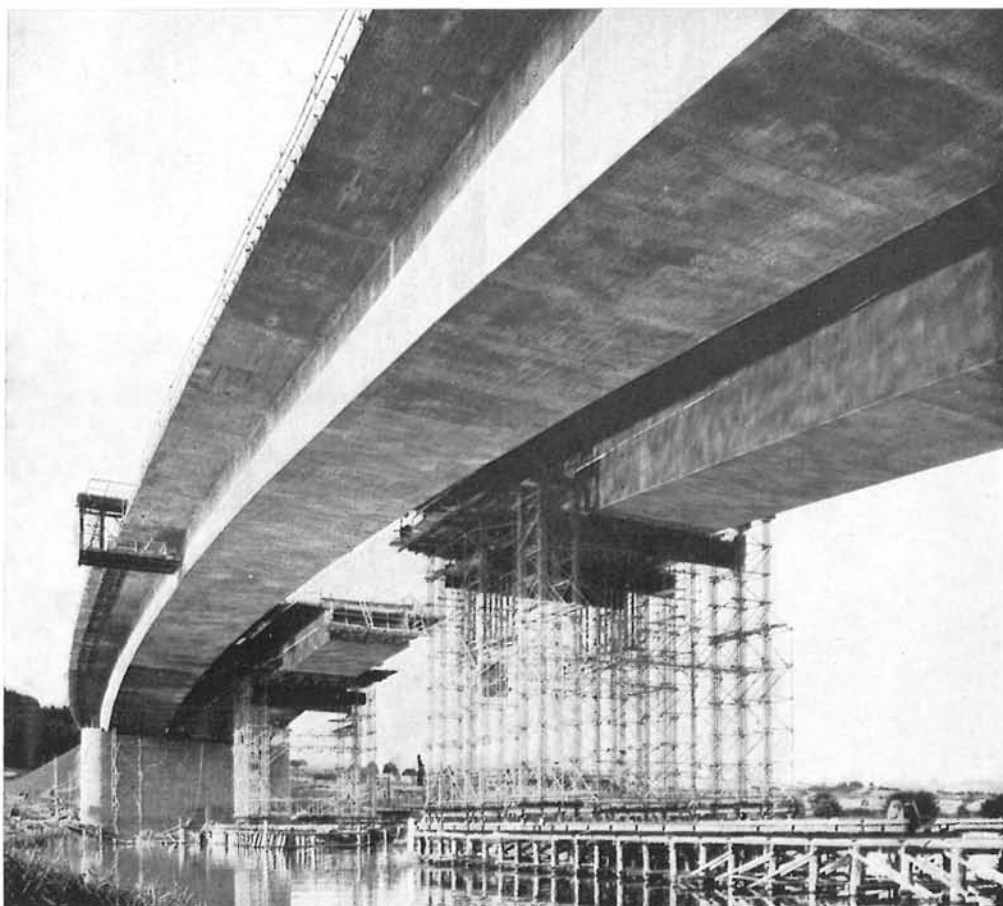
El modo típico es avanzar con el encofrado que se ancla y vuela sobre la parte construida, llevando un ritmo de módulo semanal de unos 3,50 m de longitud, pero también puede procederse por dovelas prefabricadas que van aplicándose sucesivamente contra las ya construidas.



La sociedad alemana Polensky & Zöllner también ha utilizado el sistema combinado con el de apoyos provisionales de cimbra y, precisamente, para la construcción del puente que ostentaba la máxima luz antes de construirse el de Maracaibo, que es el de Bettingen sobre el Main, en la autopista Francfort-Würzburg, cuyo tramo central es de 140 m, con la particularidad de tener planta curva. Esta misma sociedad ha empleado el sistema puro de voladizos sucesivos, por lo menos en el puente del Leine, en Hoelinburg, con tres vanos de  $50 + 101,5 + 50$ , habiendo construido los laterales sobre andamio y el central en voladizos sucesivos que arrancaron desde ambas pilas para cerrar en la sección central.



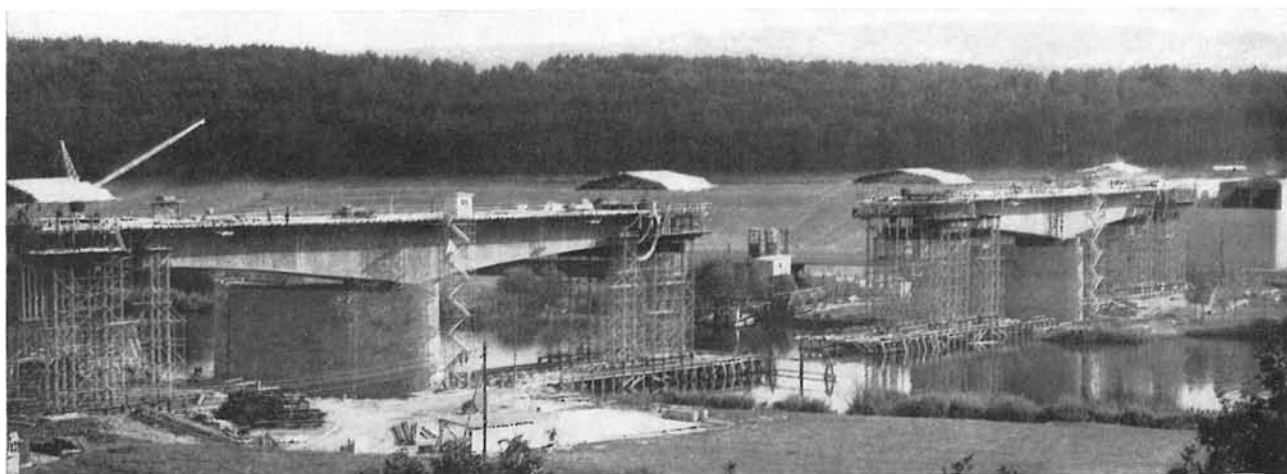


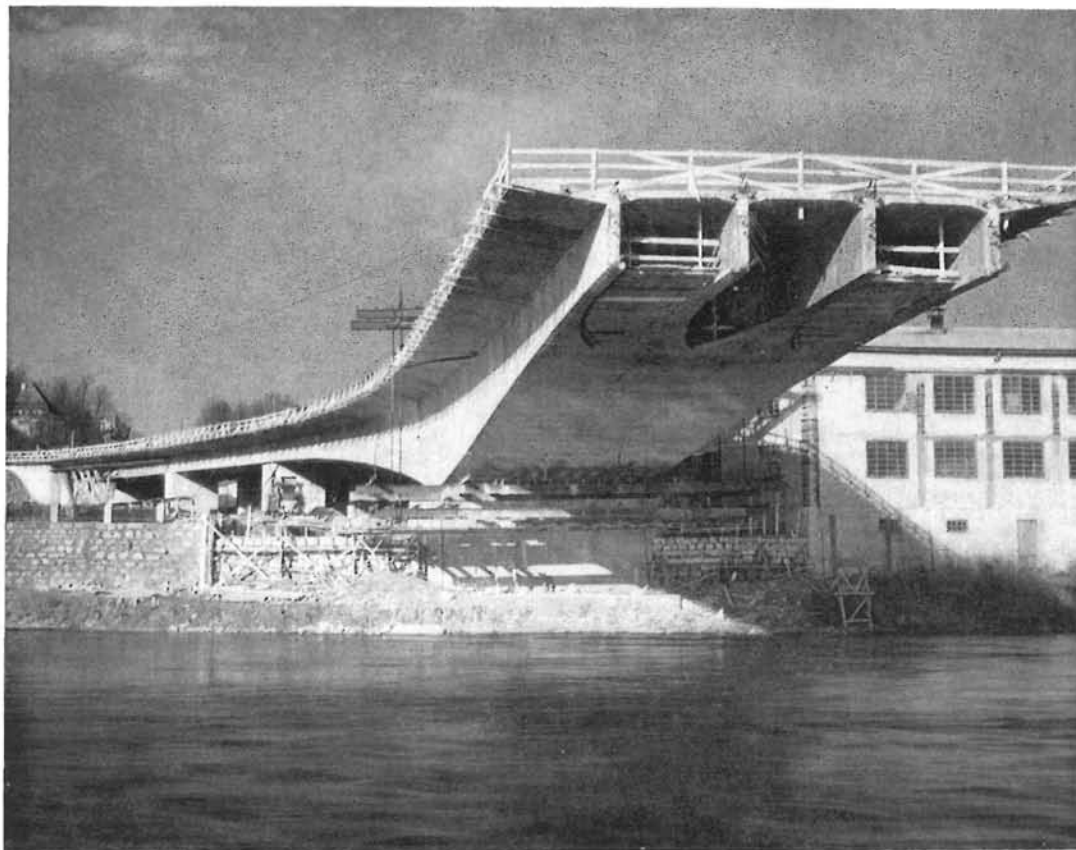


Puente sobre el Main, en Bettingen, para la autopista Frankfurt-Würzburg. Polensky & Zöllner, 1959.

Proceso constructivo.

Otro puente construido por esta misma sociedad, en consorcio con empresas austríacas, es el del Enns, en Steyr (Austria). Tiene una longitud total de 284 m, y está compuesto de dos estructuras independientes, un tramo continuo de tres vanos,  $10,90 + 26,63 + 26,50$ , y dos tramos con ménsulas compensadas, de tres vanos de  $46,93 + 100,94 + 70,01$ , con articulación de tipo deslizante en el centro del vano principal. El ancho total es de 17 m, con calzada de 12 y dos aceras de 2,50. En la zona de los vanos cortos hay una parte en curva.





Puente Enns, en Steyr (Austria).

El dintel de los vanos principales se organiza en viga multicelular de 11 m de anchura con cuatro diafragmas verticales de altura variable entre 1,80 y 4,10 metros. El pretensado se realizó por el sistema Polensky & Zöllner con cables de 116 toneladas, compuestos de 44 alambres de acero acanalado. La construcción del tramo central se llevó a cabo por voladizos sucesivos utilizando la patente Dywidag.

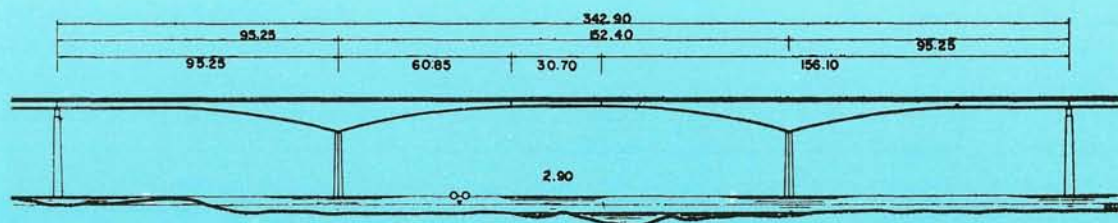
Los tramos cortos son de altura constante con tablero sobre cuatro vigas.

Se proyectó por el ingeniero K. Schindler, de Viena, y se construyó por un Consorcio de Empresas austríacas. Se abrió al tráfico a finales de 1961.

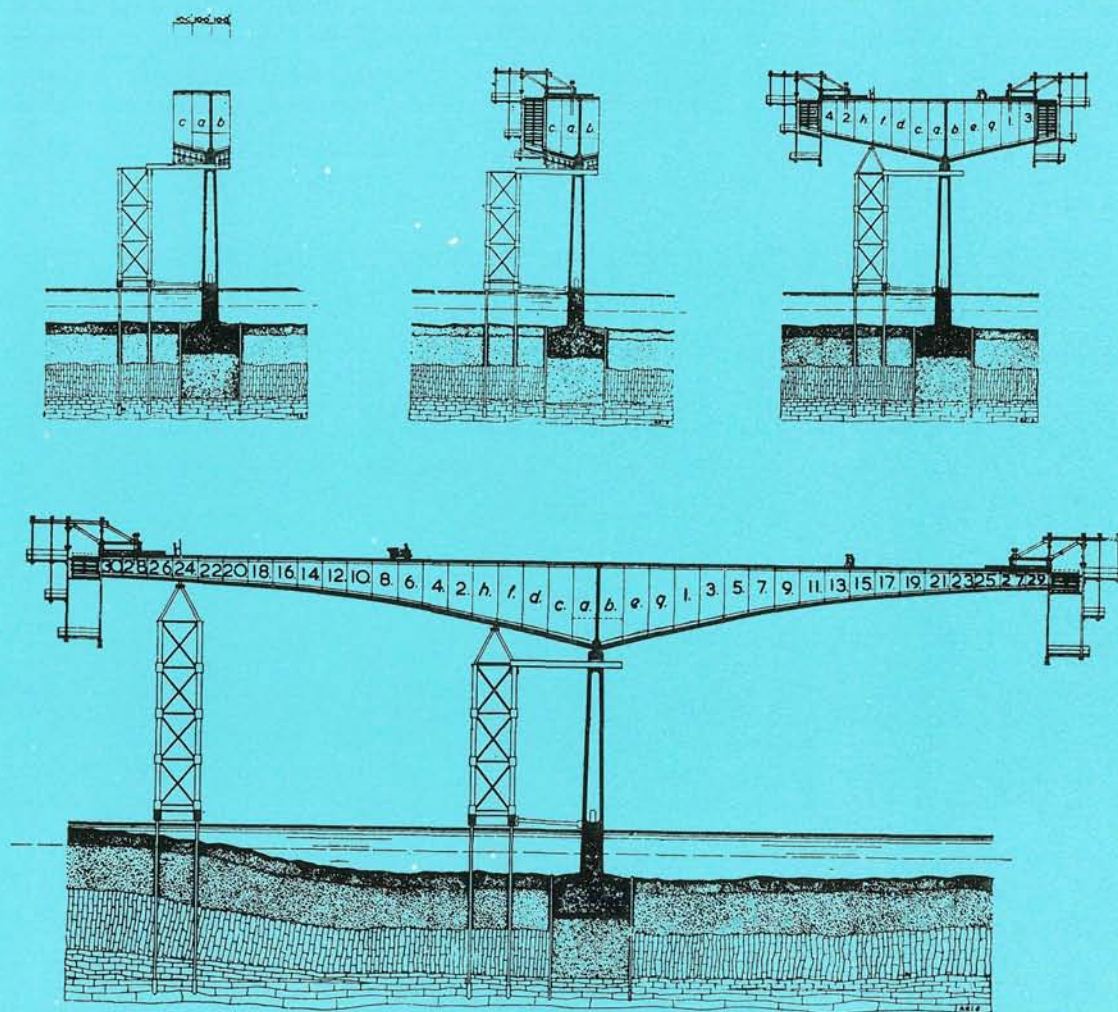


El puente actualmente de mayor luz construido por este sistema es el del río Medway, en Inglaterra. Se integra de un tramo principal en la zona de aguas normales y de dos viaductos de acceso, que suman en total una longitud de 997,46 metros. Los viaductos de acceso constan de tramos sencillos con 18 luces, variando desde 30,48 a 41,15 m, y el tramo principal consta de tres vanos con  $95,25 + 152,40 + 95,25$  m. El ancho normal es de 34,59 m, dividido en dos

Puente Medway, en la autopista M. 2, Inglaterra.



#### PROCESO CONSTRUCTIVO



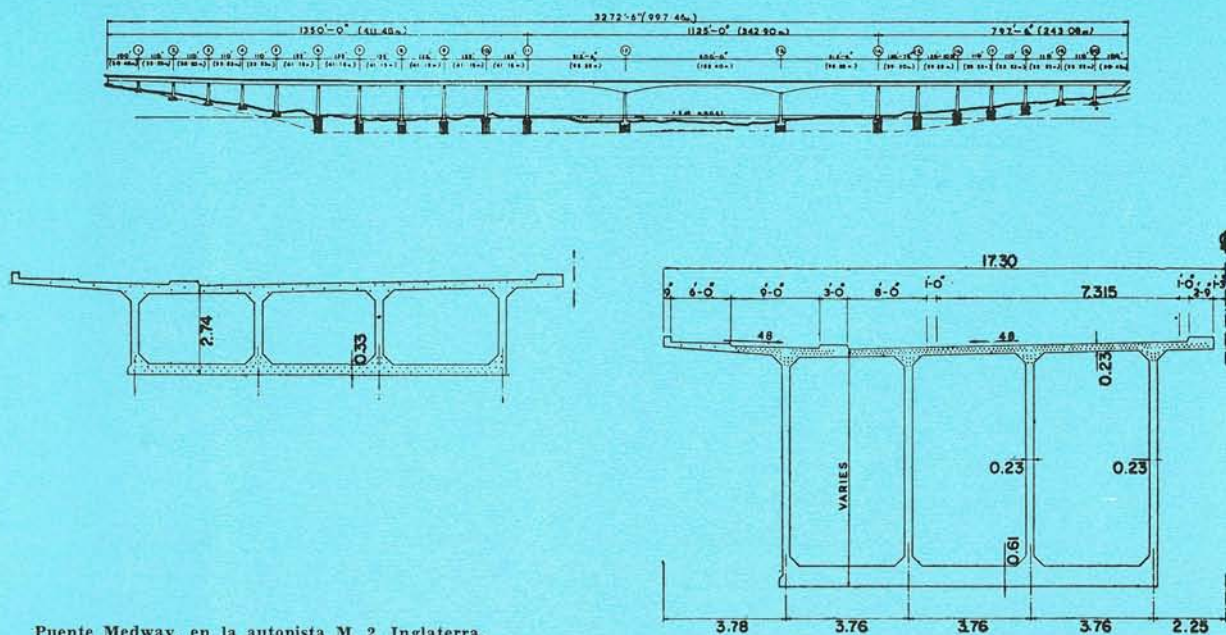


calzadas para vehículos, de 7,315 m, separadas por mediana, de 2,438 m, dos pistas para bicicletas de 2,743 m y dos aceras marginales de 1,829 m. La altura de rasante sobre el nivel medio de marea es de 35 metros.

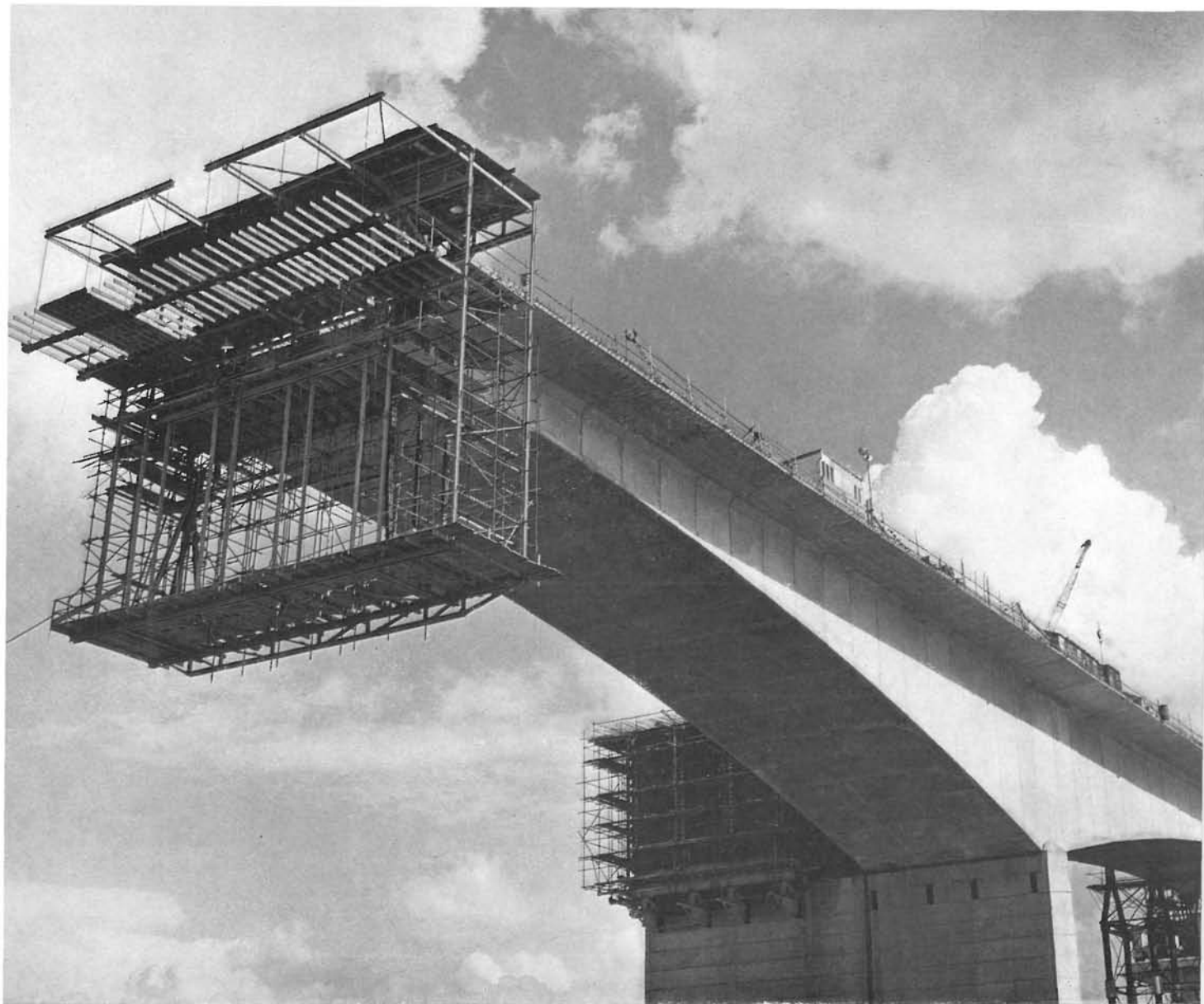
El tramo principal se organiza en dos mitades independientes a lo largo del eje longitudinal, con una separación de 0,622 m. En estructura longitudinal son dos tramos ménsulas con un tramo sencillo central de 30,18 m. En estructura transversal son dos vigas en cajón tritelular con diafragmas verticales de 0,23 a 3,759 m de separación, volando la losa superior con espesor también de 0,23 m. La losa inferior varía de 30 a 60 cm, 4,80 m por el lado externo y 3,28 m por el interno. Su altura es variable desde 2,743 m, que se mantiene constante en el tramo central independiente hasta 4,54 m sobre los apoyos intermedios y 2,23 m en apoyos extremos. La variación de canto se consigue mediante intradós parabólico. Los tabiques están pretensados longitudinal y verticalmente mediante barras Lee McCall de 47 t de fuerza efectiva cada una, dando un total de 26.000 t sobre apoyos centrales. La longitud total de barras es de 301 kilómetros.

Teniendo en cuenta las posibilidades de asiento de los apoyos se eligió una solución isostática, dividiéndose además el tramo principal longitudinalmente. Se proyectó considerando desde el principio que la construcción se iba a llevar por voladizos sucesivos, sin colocar andamio dentro del vano central.

Se hicieron estudios en modelo reducido en el laboratorio de la Cement and Concrete Ass., reproduciendo a escala 3/40 uno de los voladizos del vano central, es decir, con una longitud de 4,60 m, pretensado con alambres de 0,025 m en los conductos correspondientes de tablero y diafragmas. Se probó con la carga equivalente al peso propio y con la sobrecarga del tren denominado «abnormal» del Ministry of Transport (vehículo 180 t). Para llegar a rotura se adoptó un sistema de carga



Puente Medway, en la autopista M. 2, Inglaterra.

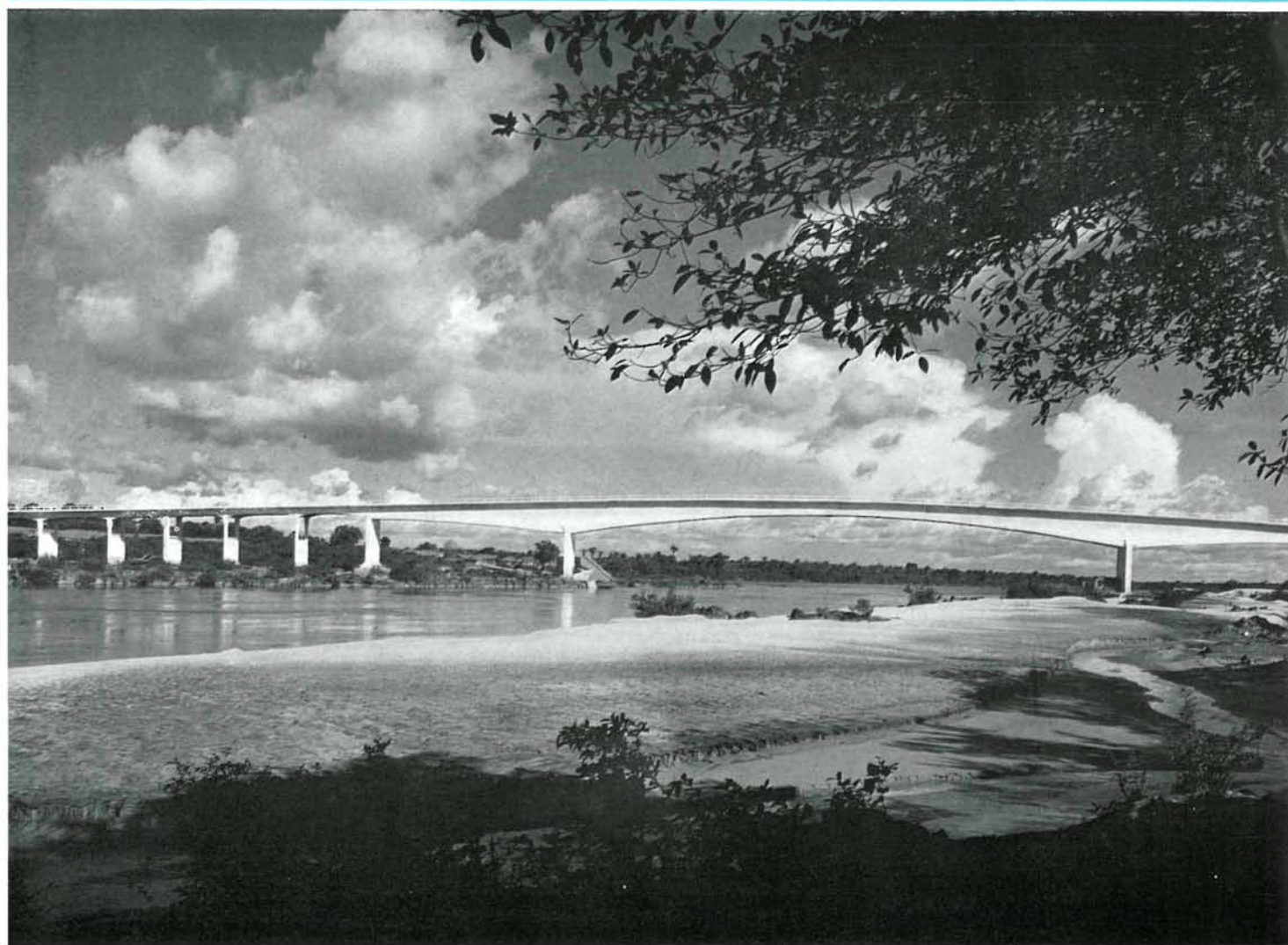
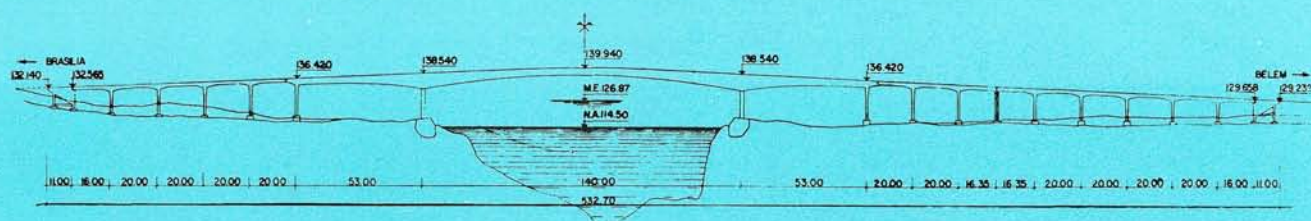


puntual, con objeto de estudiar las posibilidades de pandeo. Se rompió sin que apareciera este fenómeno con carga equivalente a varias veces la del tren «abnormal». También se estudió una sección transversal del cajón para analizar el pandeo local de las almas y la distribución de tensiones entre los diferentes elementos.

Las primeras secciones del dintel se ejecutaron sobre los apoyos intermedios montando una plataforma horizontal de viguetas metálicas sustentadas en dichos apoyos y en unos metálicos provisionales dentro de los vanos laterales. Después se procedió por secciones de 3,04 m en voladizos sucesivos, anclando los vanos externos en las torres metálicas para evitar el desequilibrio. El andamio se anclaba en las secciones anteriormente ejecutadas y se hormigonaba la siguiente, procediéndose inmediatamente al tesado de las barras que les correspondían. Una segunda y una tercera torres metálicas provisionales se instalaron en el vano lateral. Una vez terminado el tramo ménsula de un lado, se pasaron todos los elementos al otro tramo. La longitud de avance fue de 3,04 metros.



Puente Tocantins, en la carretera de Belem-Brasilia.

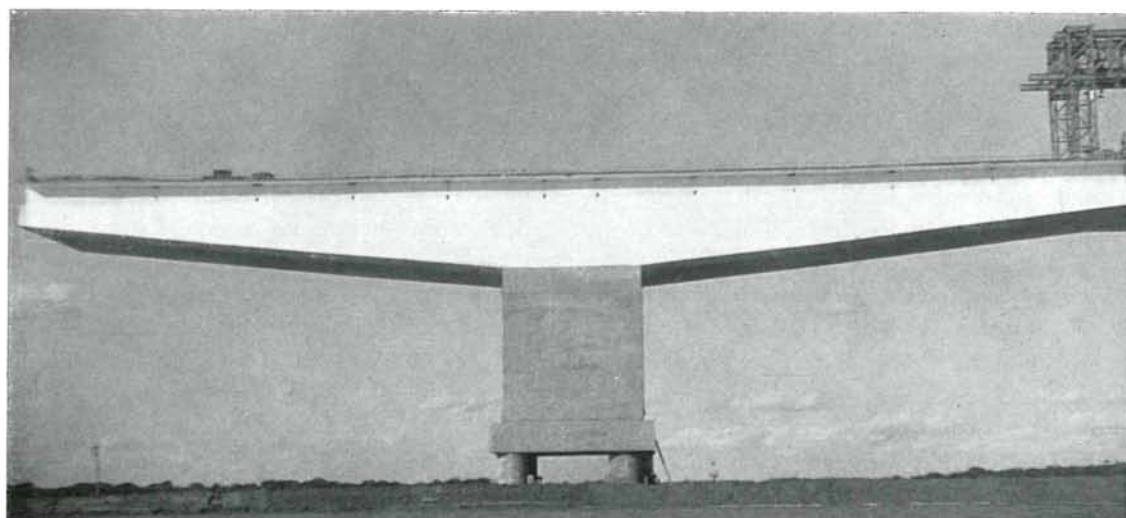
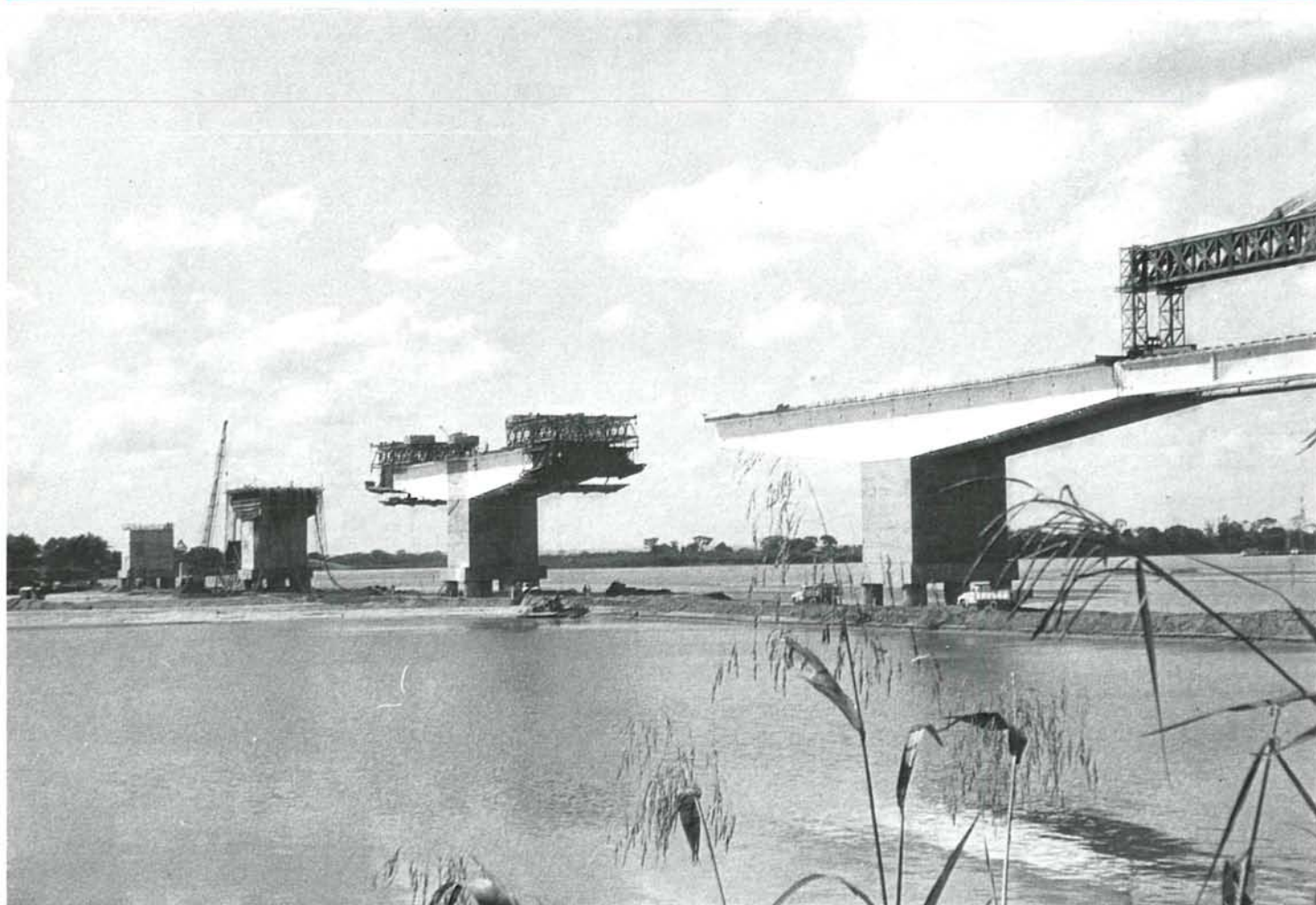






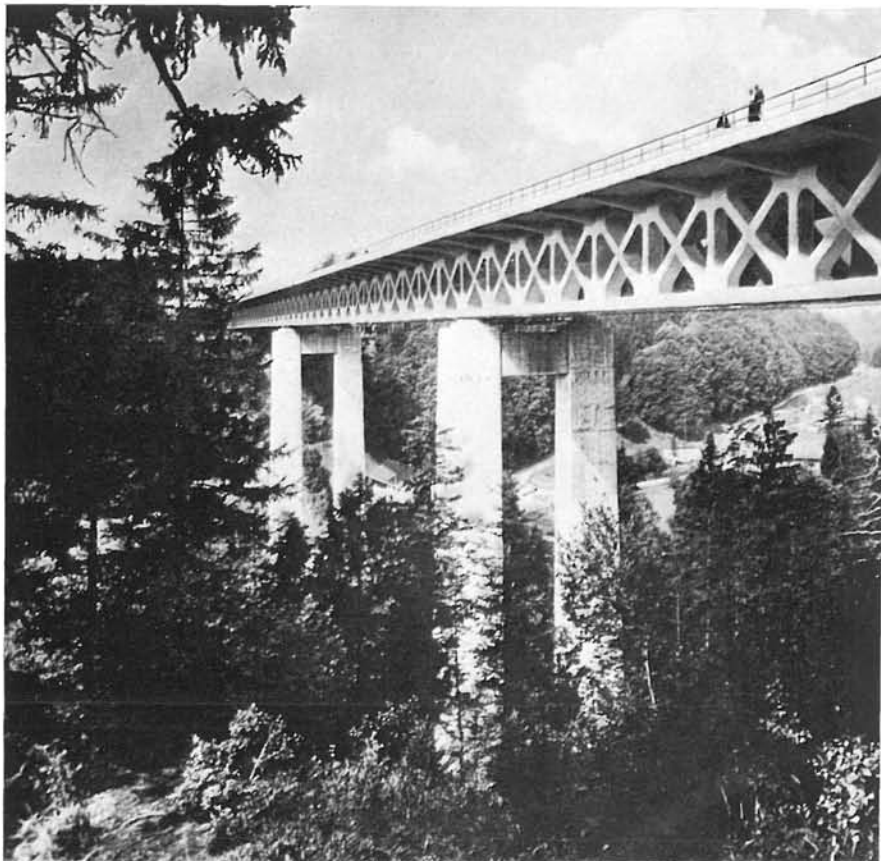
En Brasil, donde, como ya hemos indicado al principio, se inició el sistema, se han construido recientemente varios puentes de gran importancia, habiendo sido uno de ellos el del río Tocantins, con sus 140 m de luz central, récord de luz antes de construirse el de Bettingen, sobre el Main. Tiene una serie de vanos con luces desde 16 a 20 m en los viaductos de acceso, un tramo central de tres vanos con luces de 16 a 20 m en los viaductos de acceso y un tramo central de tres vanos continuos de  $53 + 140 + 53$  m. Se construyó en el año 1961 para la carretera de Belem a Brasilia, por el Ingeniero Sérgio Marques de Souza. También se construyó por la misma Empresa el puente sobre el río Paraná, en Presidente Epitácio, con siete vanos de 112,50 m, flanqueados por dos de 78,75 y veintinueve de 45 m. En este puente se prefabricaron las vigas de los tramos de 45 m, cuatro por vano, que sirvieron, además, en las zonas centrales de gran luz, apoyándose en ménsulas de 30 m que se construyeron en voladizos compensados desde los pilares, que tienen 10 m de ancho.

Puente sobre el río Paraná.





Puente Mangfall, en la autopista Munich-Salzburg.



Un puente que se aparta del modelo normal de puentes por voladizos sucesivos es el de Mangfall en la autopista Munich-Salzburg. Sustituye a uno metálico destruido al final de la guerra, del cual ha heredado pilas y estribos. Tiene tres vanos continuos de  $90 + 108 + 90$  metros. Fue objeto de un concurso en el cual se presentaron siete soluciones metálicas y la de hormigón pretensado que se ha construido, por ser la más económica. La anchura total entre barandillas es de 23,50 m con calzada útil de  $2 \times 9$  mediana central de 2 m y andenes laterales de 1,75 m. El tablero inferior que sobre apoyos ocupa todo el ancho entre vigas y en el centro queda reducido a dos andenes de 2,60 m, se utiliza como pasarela para peatones y bicicletas.

El dintel se organiza en dos vigas reticuladas en cruz de San Andrés con montantes, separadas 14,04 entre ejes con altura total constante de 7,34 m y montantes a separación de 6 m. A esta misma separación existen vigas transversales en ambos tableros. En el tablero superior hay, además, dos vigas longitudinales en el eje, de tal manera que el forjado superior se recorta en recuadros de  $6 \times 6$ . La dimensión transversal de montantes y diagonales varía desde 66 cm en sección central a 2,20 m sobre los apoyos, pero la otra dimensión se mantiene constante en 44 cm para no dar importancia a los esfuerzos secundarios. El espesor del forjado varía de 24 a 30 centímetros.

Existe un pretensado longitudinal de ambas cabezas y además de las diagonales sometidas a tracción. En el centro del puente van 116 barras Dywidag en cabeza inferior y 43 en la superior, y sobre los apoyos, 243, de las cuales 100 en cabeza superior, 78 en el forjado interior y 65 en el forjado volado. El armado de las diagonales cambia desde 10 a 60 barras de 26 mm. Existe también un pretensado transversal en ambos tableros.

Para el apoyo de las vigas sobre las pilas se disponen unos durmientes de hormigón pretensado, de  $2,90 \times 4,70$  en planta y de 1,70 m de altura. Las diagonales que convergen hacia los apoyos, que son las que transmiten el máximo de la carga, están armadas en acero normal a cuantía del 3 por 100.

La distribución del reticulado ha exigido en esta obra avanzar por voladizos de 6 m de luz, que se hormigonaban en dos etapas partiendo por una diagonal. Se utilizó un tramo reforzado mediante cables, para reducir su deformación bajo carga. Una vez puesto a punto el sistema constructivo se consiguió avanzar a razón de un voladizo por semana.

El cálculo de las vigas trianguladas, teniendo en cuenta las deformaciones longitudinales de las barras se desarrolló por el método de Cross mediante método especial del profesor Pucher.

Las cantidades totales de materiales fueron: 6.000 m<sup>3</sup> de hormigón, 390 t de acero normal y 670 t de acero pretensado tipo Dywidag, que representa 0,90 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de hormigón y 158 kg/m<sup>2</sup> de acero. El coste total: 3,6 millones de marcos, o sea, 540 DM por metro cuadrado.



Puente de ferrocarril Washinosu, en Japón.

El único puente ferroviario construido por el sistema es el de Washinosu (Japón), con tramo continuo de seis vanos:  $20 + 24 + 44 + 24 + 20 + 20$  para ferrocarril de simple vía con anchura de plataforma 3,80 y andén único de 1,13 metros.

El dintel se organiza en viga cajón de altura constante 2,05 m en los vanos de 20 m, y variable hasta 3,25 en los tres vanos principales.

El vano central es el construido por voladizos sucesivos sistema Dywidag por la Sociedad Kajima Construction Co., de Tokio, en 1961-62.

Durante el año 1963 se han terminado dos puentes importantes en la península escandinava. Uno es el que une dos de las tres islas que forman el puerto de Kristiansund North, en la costa norte de Noruega.

Tiene una parte principal de tres vanos  $50 + 100 + 50$  y dos viaductos de acceso de 9 y 7 vanos de 13 m. El ancho total es de 9,30 m. Uno de los viaductos se desarrolla en curva. La altura en el vano central es de 33 metros.

El dintel principal se organiza en sección cajón con 6 m de anchura y canto variable.

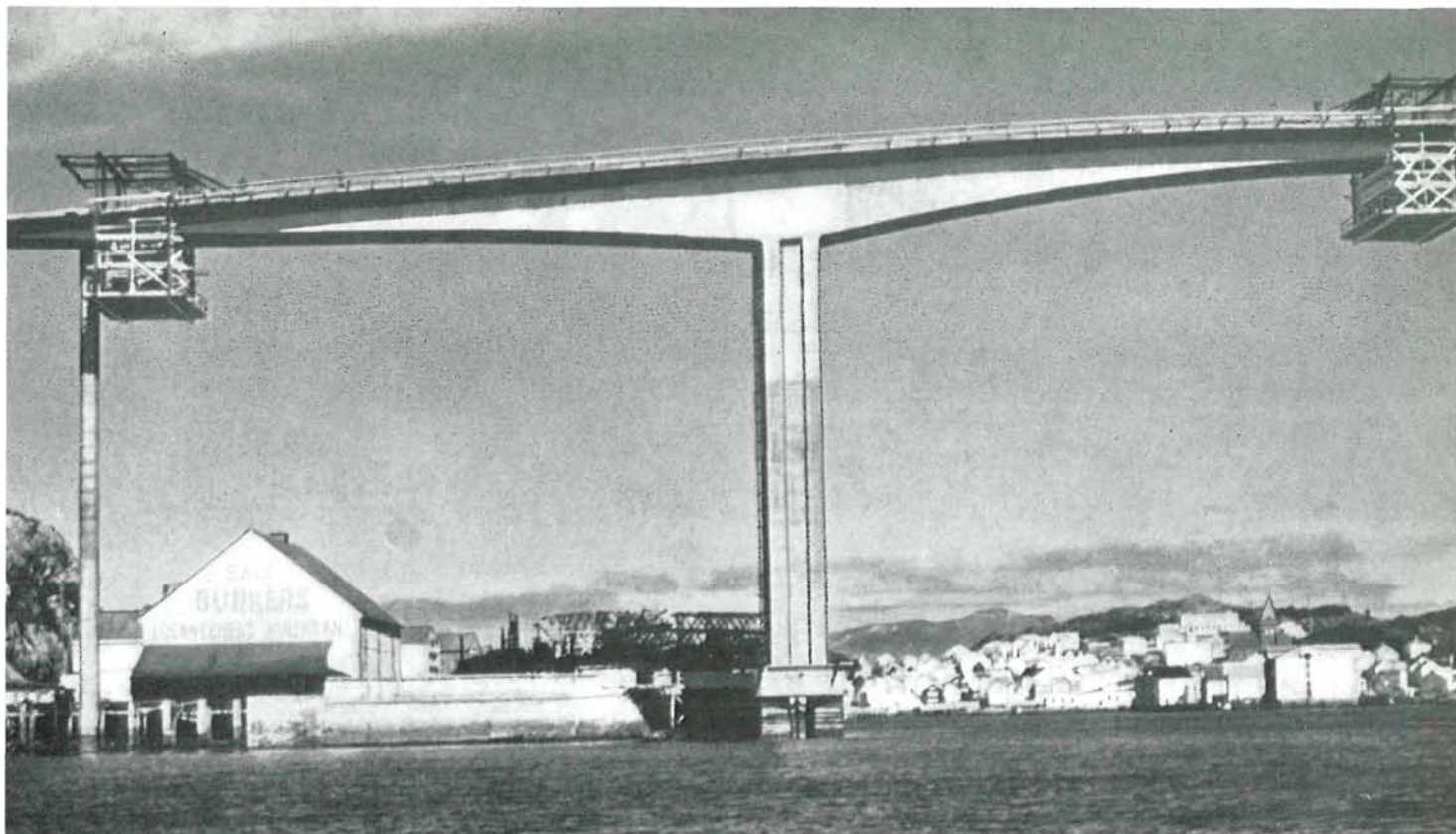
Se ha construido por voladizos sucesivos sistema Dywidag, avanzando por secciones de 4 m. Los pilares principales son también de sección cajón con dimensiones exteriores de  $5 \times 4$  m con 25 cm de espesor. Se hormigonaron con encofrados de madera por alturas de 3 m. Se cimentaron sobre roca mediante cuatro pilarotes de  $2 \times 2$  m, contruidos de hormigón sumergido.

Los viaductos laterales son de hormigón armado de vanos continuos y van soportados sobre fila única de columnas cilíndricas de 1,40 m de diámetro, que se cimentan sobre roca.

Se construyó por la Vestlandsbygg con licencia de Dywidag y proyecto del ingeniero Aas Jacobson.

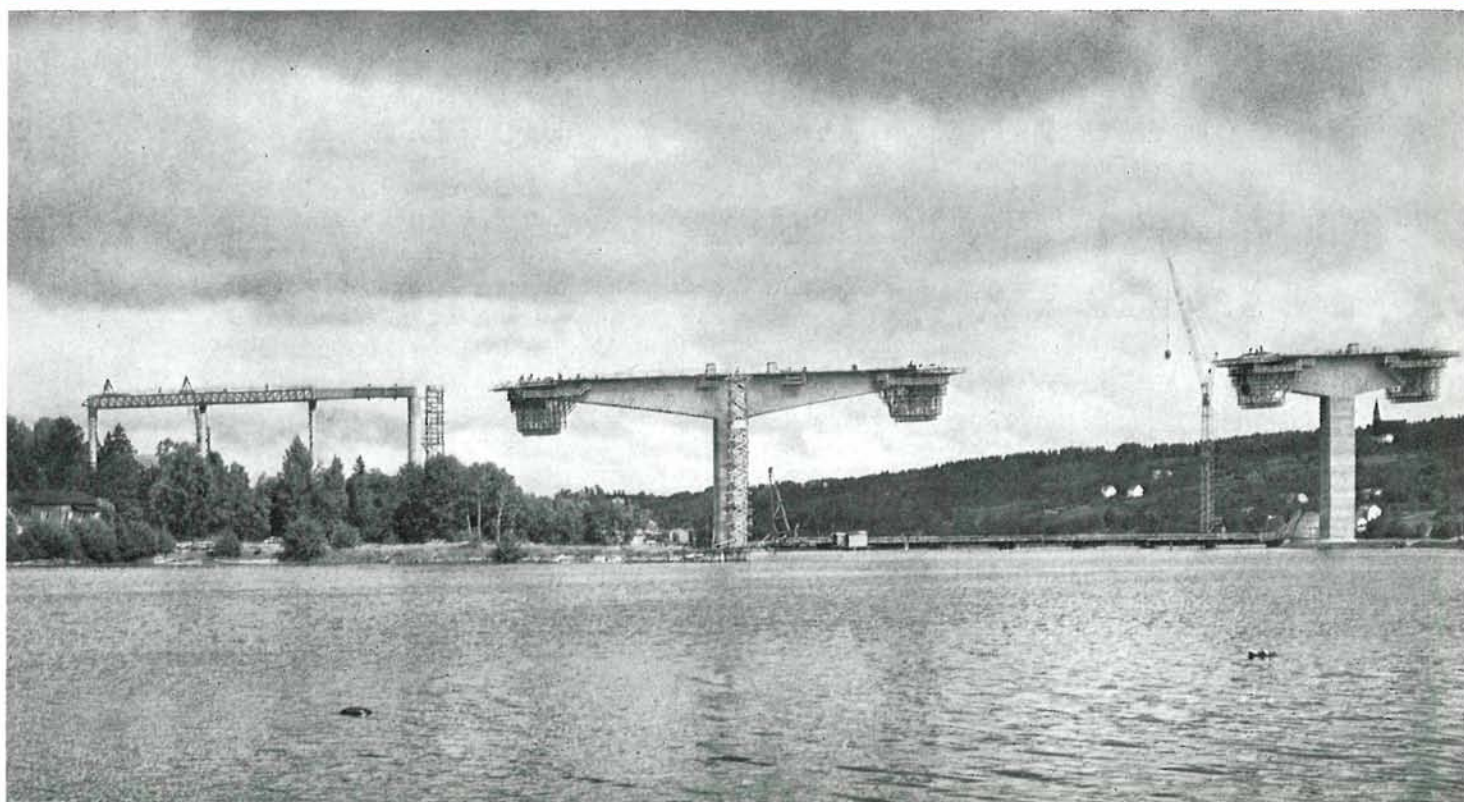
El otro puente es el de Alnö, cerca de Sundswal, en Suecia.





Puente de carretera sobre el Kristiansund, en Noruega.

Puente de carretera sobre el Alnösundet, en Suecia.



Tiene siete vanos principales y dos viaductos de acceso para unir una isla con el continente a través del estrecho de Alnö, en la zona norte de Suecia. Los tres tramos centrales tendrán 134 m de luz; los adyacentes, 105; terminando el conjunto principal con otros dos de 60 metros.

El ancho de plataforma es de 12 m y la altura del gálibo para navegación, 39,50 m. Se construye por voladizos sucesivos desde las seis pilas centrales de sección rectangular hueca. Estas se ejecutaron con encofrados deslizantes y van cimentadas mediante cajones cilíndricos que se llevaron por flotación.

Los viaductos de acceso, con seis y cuatro vanos continuos de 35 m, van sobre pares de pilas cilíndricas construidas con encofrados deslizantes de 1,20 m de diámetro.

Se construyó por la Empresa Skanska Cementgjuteriet con patente Dywidag.

Recientemente, la STUP ha adoptado el sistema para la construcción de dos puentes con vano central de 60 m, utilizando el sistema de pretensado Freyssinet con cables de 12  $\varnothing$  8 mm. Adoptó el tipo estructural de viga continua con vanos laterales de mitad de luz que el central, suprimiendo la clásica articulación en el centro. Considera que la disposición de elementos en T tiene el inconveniente de transmitir flexiones a los pilares cuando actúa la sobrecarga. Además, según su experiencia, la articulación puede dar lugar a una discontinuidad angular debido a la deformación por fluencia lenta bajo la acción de la carga permanente.

En uno de los puentes construidos, el de Lacroix-Falgarde sobre el Ariège se avanzó simétricamente desde las pilas, siendo preciso solidarizar provisionalmente dintel y pilas mediante hierros pasantes verticales. En el de Joncelin, sobre el Isère, se ejecutaron los tramos laterales sobre cimbra y únicamente por voladizos las mitades del central. En el primero, el hormigón se transportaba mediante blondín; en el segundo, por vía sobre el tablero ya construido.

La Empresa Campeon Bernard presentó un proyecto para el concurso del puente sobre el Caroni, en Venezuela, con vanos de 120 m para construir por voladizos sucesivos.

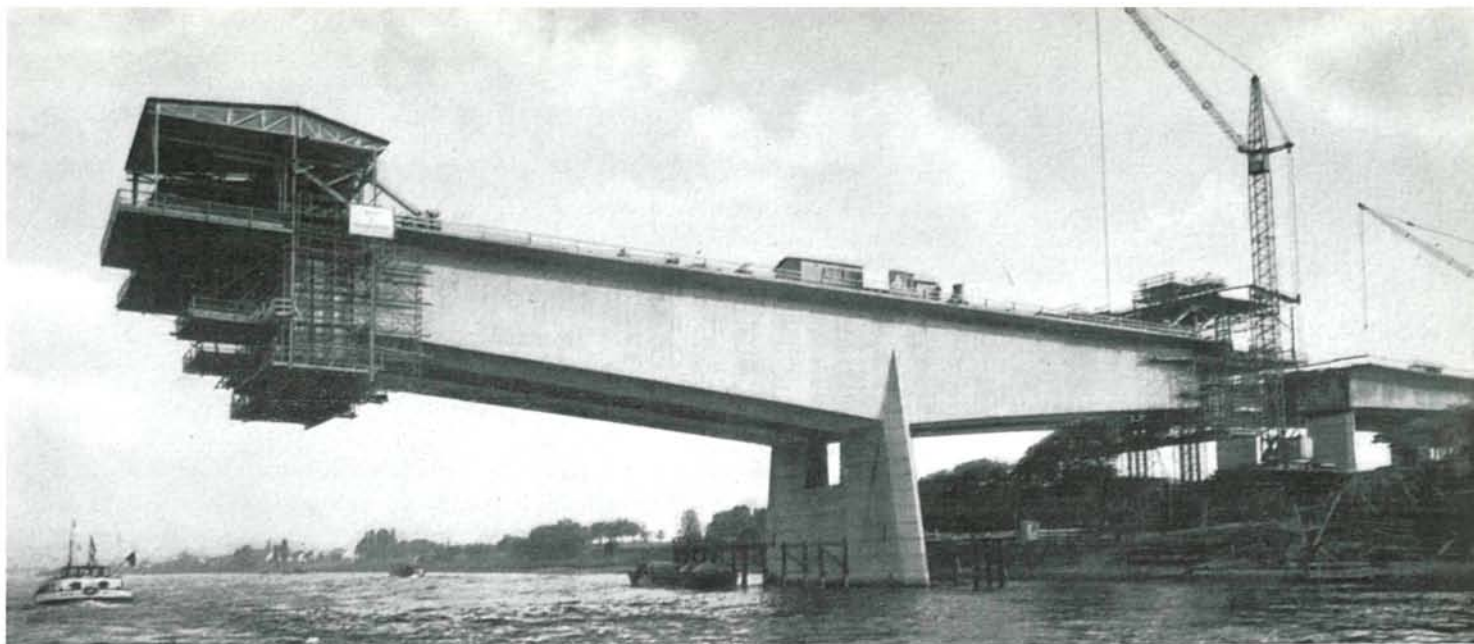
En la actualidad se construye en Lisboa un viaducto con vanos de 70 m, en los accesos al gran puente sobre el Tajo, en el que se está utilizando el sistema de voladizos sucesivos según proyecto del profesor Courbon.

El puente de Bendorf, actualmente en construcción, sobre el Rin, será, con su vano de 208 metros, récord de luz libre en puentes pretensados, aunque el de Maracaibo continúe con el de máximas luces teóricas.

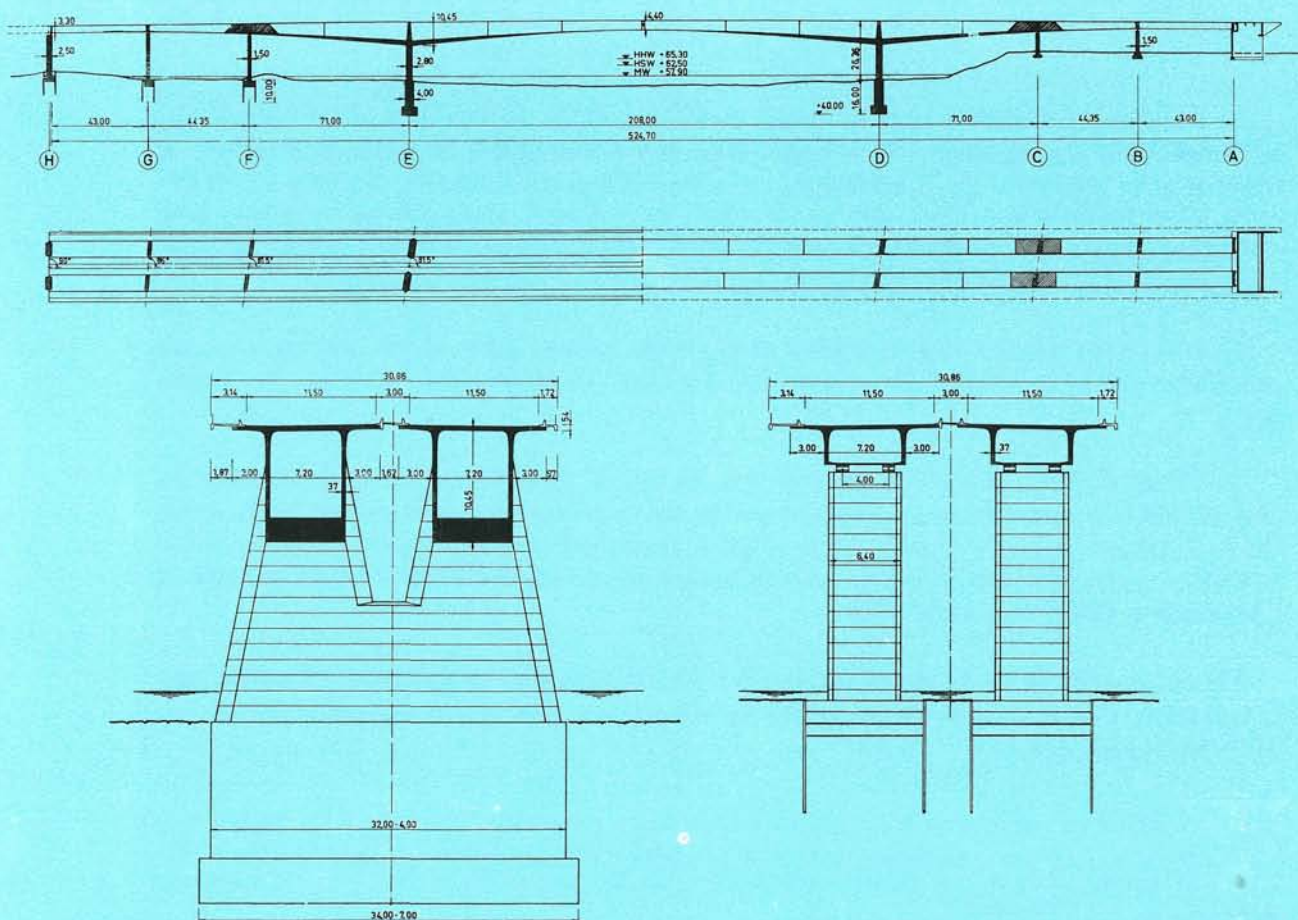
Salvará el Rin a 8 km al norte de Coblenza, dando paso a la autopista Colonia-Francfort por Montabaur-Westerbald. Tendrá una longitud de 1.030 m, correspondiéndole a la zona de puente, propiamente dicha, una longitud de 524,50 m, que se descompone en siete vanos de: 43 + 44,25 + 71 + 208 + 71 + 44,25 + 43. El ancho es el normal de puentes de autopistas, con dos calzadas de 7,50 m, mediana de 3, aceras de 1,72 y 3,14 m, dos fajas de circulación lenta de 2,50 metros y cuatro fajas de separación de 0,75. En total, 30,86 m, que se materializan en tablero cortado por el eje a todo lo largo del puente.

Cada uno de los dos dinteles adosados se organiza en viga cajón única con altura variable desde 4,40 m en sección central, hasta 10 m sobre los apoyos. Los diafragmas verticales están separados 6,35 m entre caras internas y tienen 30 cm de espesor. La armadura de pretensado es de barras de 32 mm, sistema Dywidag, con resistencia 80/105. El hormigón tipo B. 450, con 350 kg/m<sup>3</sup>, trabaja a una tensión máxima de 130 kg/cm<sup>2</sup>. El vano central se construirá por voladizos sucesivos a partir de las pilas centrales por secciones de 3,50 m, según el sistema Dywidag, y los restantes se ejecutan directamente sobre cimbra.





Puente sobre el Rin, en Bendorf.



Los pilares centrales son solidarios del dintel, formándose así dos unidades T asimétricas enlazadas por articulación deslizante en el centro. Tienen un espesor de 2,80 m y perfil trapecial a partir del fondo del de la viga. Se han cimentado en el terreno firme mediante cajones de aire comprimido hasta 11 m de profundidad.

La zona principal del puente está en construcción por las Empresas Dyckerhoff & Widmann y Grün & Bilfinger. La zona de avenidas la construye Wayss & Freytag. El proyecto de la totalidad es de U. Finsterwalder. El presupuesto total es de 21 millones de DM.

La materialidad del procedimiento constructivo varía muy poco de unos casos a otros. Se trata de disponer un andamio que puede avanzar longitudinalmente, quedando anclado en la parte del dintel construida y volando lo suficiente para soportar el encofrado de un bloque y la plataforma de trabajo del personal que hormigona y pretensa. Generalmente, el primer bloque común a los dos voladizos que arrancan de una pila se hormigona apoyando el andamiaje sobre la pila misma, y ya en el doble saliente obtenido se encajan los andamios para empezar la repetición del proceso constructivo. En los puentes que conocemos, realizados por Dywidag, el ritmo de construcción es una semana. Trasladado el andamio empieza el proceso montando las armaduras con anclajes, los que terminan en el bloque y prolongándose mediante empalmes de manguito las que van a seguir. Se hormigona en una sola jornada; a los dos días se hace un primer pretensado, se sueltan los encofrados y se traslada el andamio que ha de soportar el bloque recién hecho. La sustentación del andamio se hace por contrapeso directo, prolongándose dentro de la parte construida en longitud conveniente lastrada o bien anclándose mediante cables verticales a una sección interna. Cuando se hormigona en invierno se puede disponer el andamio para colocar una envoltura que aisle del frío, e incluso permita curar al vapor. En todos los casos se coloca un cobertizo para hormigonar bajo la lluvia.

Una variación del sistema es la de avance mediante adición de dovelas prefabricadas. Tiene la ventaja de haber preparado previamente las dovelas moldeándolas al mismo tiempo que se ejecutan otros elementos de la estructura, pero tiene el inconveniente del gran peso de las dovelas, sobre todo en cuanto el canto es de alguna importancia. Estas pueden colocarse, bien mediante blondín o bien mediante carretón que rueda sobre la parte construida con un pico que avanza después para conseguir un voladizo que se contrapesa anclando el carretón.

La realización máxima de este sistema es el puente urbano sobre el río Moscowa, en las inmediaciones de la fábrica de automóviles Lijachef, denominándose también de Krano-holmsky (1).

La longitud total es de 619 m, con una luz central de 148 m y dos vanos laterales de 36,4 metros. El vano central se descompone en dos voladizos con vuelos iguales de 74 m, unidos en el centro por medio de rótula, que permite movimientos horizontales. El ancho del puente, para el paso de dos líneas de tranvías y ocho filas de automóviles, es igual a 42,1 m, además de las aceras, de 3,5 m, a cada lado.

Siendo pequeña la luz de los vanos laterales para garantizar la estabilidad de los voladizos, fue necesario disponer detrás de los apoyos extremos unos contrapesos muy importantes en continuidad con el tablero.

---

(1) El proyecto del puente fue redactado por el Instituto de Proyectos de Transporte y Puentes (ing. jefe del proyecto: S. J. Terejin), la obra fue realizada por el Grupo de Construcción de Puentes, núm. 4, del Trust de Construcción de Puentes del Ministerio de Obras de Transporte (jefe del grupo: L. V. Duduliak; ingeniero jefe: J. L. Fedchun).





El dintel está compuesto por cuatro vigas prefabricadas de hormigón armado con armadura pretensada y de sección cajón. Las vigas se unen entre sí por soldadura de hierros y hormigonado posterior e, igualmente, por medio de diafragmas transversales situados cada 12-24 m uno de otro.

El dintel tiene una altura relativamente estricta, igual a  $\frac{1}{64}l$  en el centro de la luz, y a  $\frac{1}{19,7}$  en los apoyos, lo cual garantiza los gálibos del transporte fluvial.

Los apoyos del puente están realizados sobre una palizada de pilotes de sección igual a  $35 \times 35$  cm. Las losas superiores, de espesor igual a 24-29 cm, y las inferiores, de 10-72 cm de espesor, son de hormigón armado corriente. Se prefabricaron con hormigón de marca 500 en las instalaciones de la empresa constructora y en la fábrica del Ministerio de Obras del Transporte en la ciudad Dimitrovo. En las losas superiores de cada viga se dispusieron siete canales abiertos, con profundidad de 9 a 14 cm, en cada una de las losas. Las paredes verticales de las vigas principales, con espesores iguales desde 22 a 32 cm, se ejecutaron en el polígono de la fábrica mencionada anteriormente con hormigón de marca 500. El pretensado de la armadura de las paredes verticales fue motivado por la necesidad de anular las tensiones locales de tracción, que aparecían junto a los puntos de apoyo intermedios e, igualmente, para disminuir el valor de las tensiones principales de tracción.

Todos los cables en horquilla, de la armadura longitudinal de pretensado, están colocados en canales abiertos de la losa superior, revolviendo en garganta semicircular, situada en la losa superior de cada dovela, con radio desde 35 a 75 cm. Todos los cables se prolongan hasta el macizo de contrapeso, y allí se realiza su anclaje. Esta disposición de la armadura ofrece gran comodidad para su colocación, tesado, control de los esfuerzos reales y, en caso de necesidad, poder efectuar un retesado complementario.

Se emplearon cables potentes de acero con un diámetro igual a 45 mm y con núcleo rígido de trenzado cruzado hacia la izquierda, con tangencia lineal y sin posibilidad de destrenzado. El paso del trenzado es igual a 42-43 cm (9,5 d). El cable está compuesto de siete hilos, cada cual, a su vez, constituido por 19 alambres con diámetro igual a 3 mm y seis alambres con diámetro igual a 1,2 mm. El alambre en los hilos posee resistencia elevada  $\delta = 200-210$  kg/mm<sup>2</sup> (la resistencia de cálculo prevista para los alambres era igual a 190 kg/mm<sup>2</sup> y para el cable fue de 160 kg/mm<sup>2</sup>). La resistencia de los cables, según datos de ensayos de muestras rectilíneas, resultó ser igual, por término medio, a 178,4 t, lo que supone  $\sigma = 180$  kg/mm<sup>2</sup>.

El montaje en vuelo se efectuó mediante dovelas con longitud igual a 5,8 m y pesos desde 80 hasta 165 t. La formación de dovelas con losas planas se realizó en dos filas paralelas sobre un montículo de tierra, cuya superficie fue nivelada de tal manera que reproducía la configuración del cordón inferior del voladizo. Después las dovelas se colocaban por medio de las grúas-pórtico, sobre una balsa, la cual era remolcada hacia el lugar de montaje bajo el gancho de las grúas.

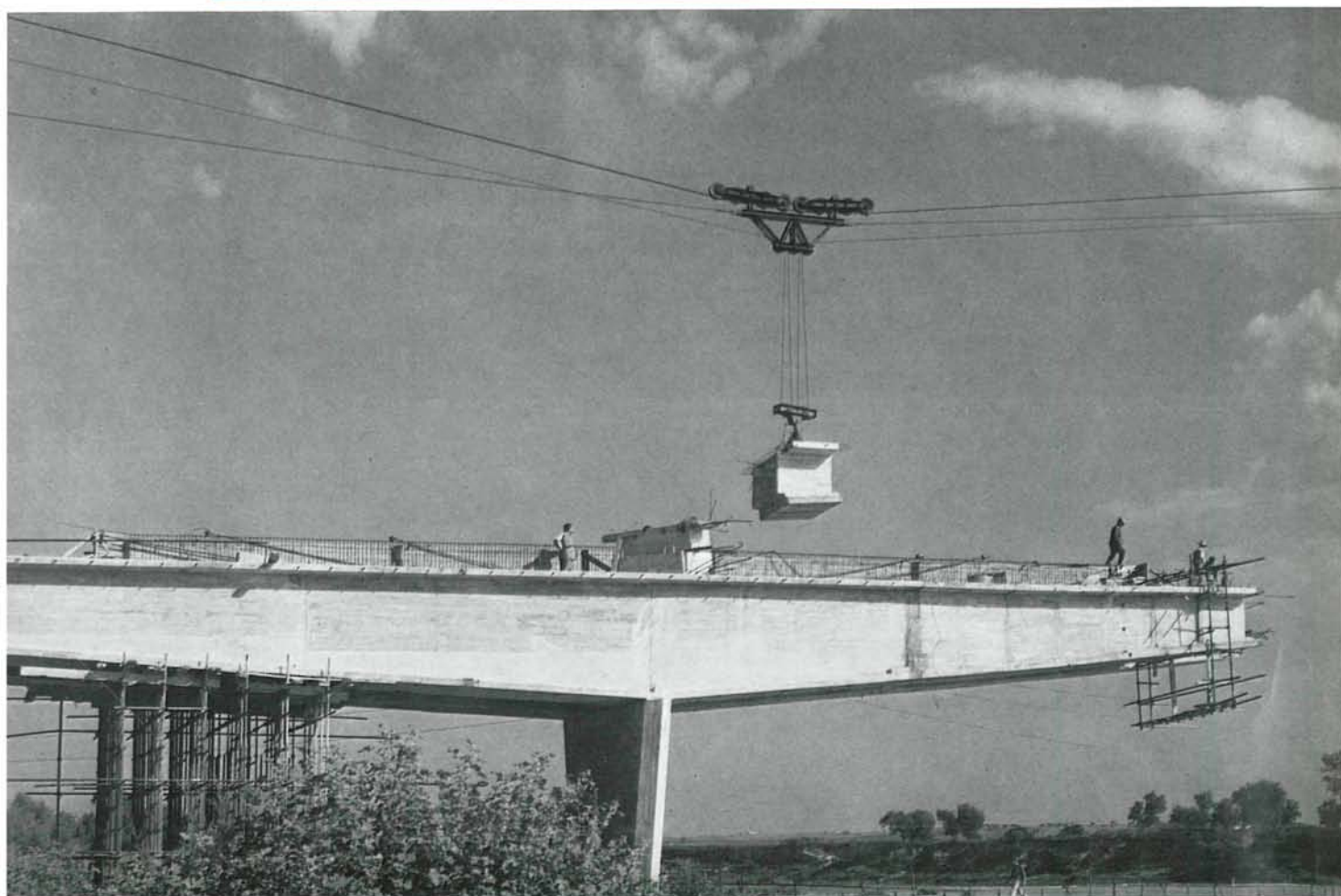
Por este procedimiento están realizándose en Rusia varios puentes sobre Dnieper, Istich, Volga y Liélupa, teniendo conocimiento de la terminación del gran puente sobre el Moscova en 1961 y el del río Oyat, con pórticos de 64 m de vano de elementos T enlazados por articulaciones en el centro de vano, en el año 1962.

Nosotros proyectamos una solución de este mismo sistema constructivo para el puente Zaza, en Cuba, en un concurso internacional del año 1958. Aunque ganó el premio al mejor proyecto, no se llevó a construcción por no haber competido en condiciones de plazo. La solución estruc-





Puente de Almodóvar, sobre el Guadalquivir.





Puente de Almodóvar, sobre el Guadalquivir.

tural correspondía a un pórtico con pilares triangulares de 97 m de luz, pero construido por avances sucesivos hasta conseguir unas ménsulas de 28,50 m, que permitían montar entre ellas un tramo prefabricado de 40 m por lanzamiento longitudinal de vigas aisladas.

Después de este proyecto y otros que tampoco han llegado a término, lo hemos aplicado definitivamente en el puente de Almodóvar, sobre el río Guadalquivir, con una obra central de  $35 + 70 + 35$  m. El puente se encuentra recién terminado, habiéndose completado con tres tramos de avenida de 20 m por un lado y cuatro de la misma luz en la otra orilla.

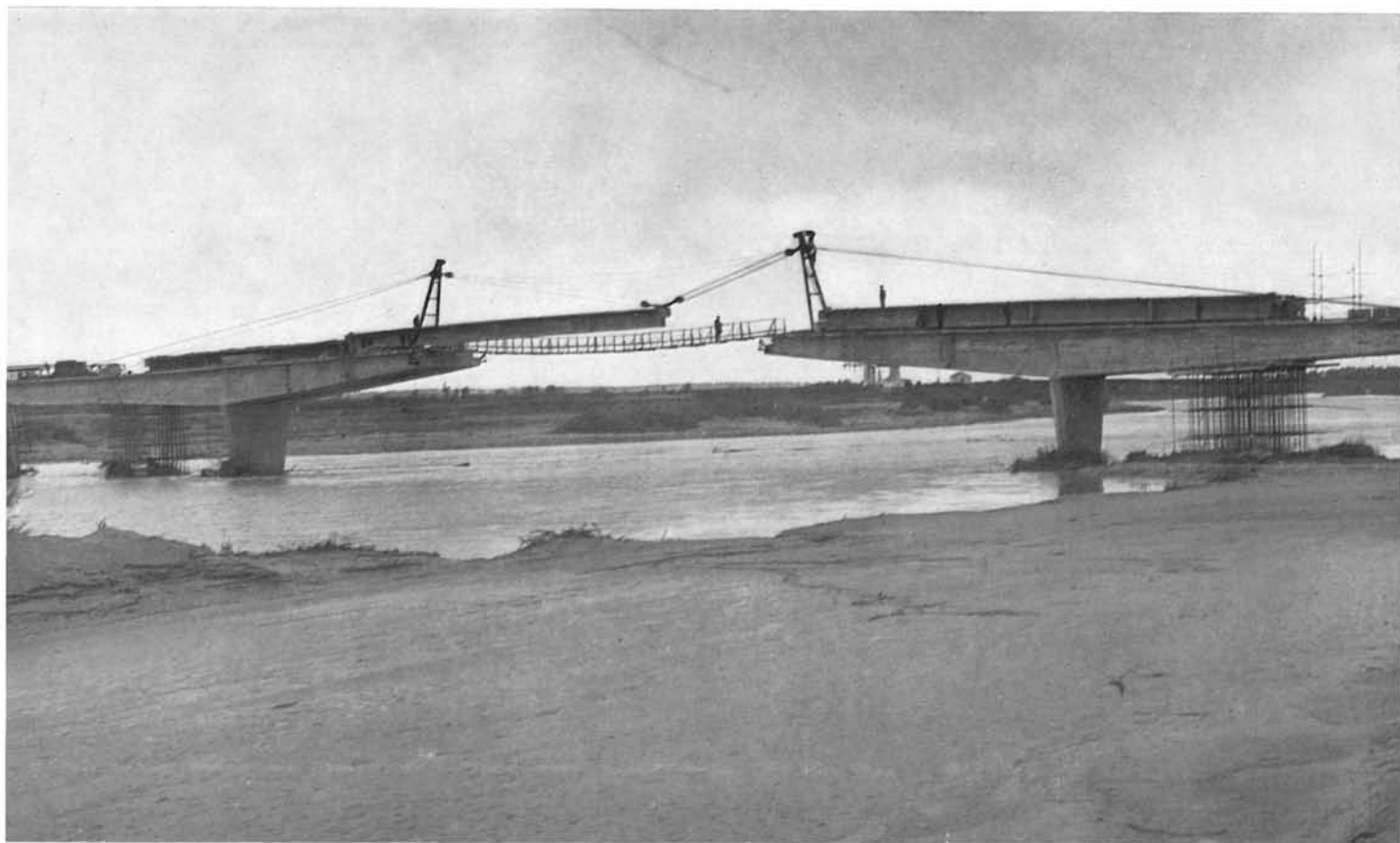
Los vanos de 20 m se construyeron sobre andamios avanzando, además, mediante voladizos de 6,75 m dentro del central. A partir de estos voladizos empezamos el montaje de dovelas correspondientes a una viga cajón de las dos que componen el dintel, siendo nueve en cada viga, con peso máximo de 7 t. El montaje de dovelas avanzó hasta dejar un vano central de 30 m, que se cerró con tramo lanzado longitudinalmente por vigas separadas. Se llegaron a colocar dos dovelas diarias: un día prolongando las dos vigas de un lado y al siguiente las del otro. Al tercer día se pretensaban las armaduras de anclaje de las dovelas primeras, puesto que ha endurecido ya el hormigón de la junta, y ese mismo día pueden ya montarse las de continuación. Por consiguiente, el avance fue de 1,50 m diarios.



Creemos que con esta variante del sistema puede llegarse a luces de 90 m, que son las máximas normales en España. Así hemos proyectado un vano de esta luz para salvar el vano sobre el Genil del viaducto de Iznájar, en el embalse de este nombre, donde se llega a alturas de 80 m sobre el nivel del terreno. En las laderas muy pendientes ésta es roca aparente, aunque ligeramente descompuesta, mientras que en la vega inmediata al río la roca se ha recubierto con una capa de sedimentos de 8 a 10 m de potencia, siendo preciso cimentar a unos 15 m para conseguir apoyarse sobre la roca sana. La luz más económica en laderas ha resultado de 35 m, mientras que en el vano sobre el río hemos llegado a duplicar esta luz, con lo cual no tenemos nada más que dos cimentaciones profundas en toda la obra.

Este puente de Iznájar lo proyectamos con vuelo sucesivo de dovelas prefabricadas hasta formar dos voladizos de 35 m, que tendrían como contrapeso los tramos inmediatos, también de 35 m. En cambio, hemos proyectado voladizos equilibrados para el puente de Amposta, sobre el Ebro, cerca de su desembocadura, con profundidades mínimas de 6 m y potencia de fangos de 30 m, hasta el conglomerado. Hemos adoptado una luz de 84 m, que se repite en tres vanos centrales flanqueados por otros dos de 48. Desde las tres pilas se puede avanzar hacia ambos lados mediante desplazamiento de encofrados por el procedimiento utilizado en todos los puentes descritos anteriormente o bien mediante dovelas prefabricadas que se ejecutan en un taller próximo al borde del río y se llevan por flotación hasta el tajo.

Teniendo en cuenta que la Empresa Dyckeroff & Widmann había comenzado la construcción del puente de Bendorf con su tramo de 208 m de luz sobre el Rin, compensado por vanos adyacentes de 104, hemos propuesto una solución de este tipo para el viaducto principal de la autopista de Caracas a Las Tejas, donde el proyecto clásico en estudio era un arco de dos articulaciones de 210 m de luz con tablero superior. Construyendo dos pilas centrales con una altura de 70 m se podía avanzar por voladizos desde ellas hasta conseguir los dos de 105 m que salvaran el vano principal y los dos adyacentes, reduciéndose los tramos de acceso a vanos normales con pilares de altura media. Una variante del trazado hizo innecesario el viaducto.



## **Exécution de ponts précontraints par encorbellements successifs**

C. Fernández Casado, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le système de construction par encorbellements successifs a permis d'accroître, d'une façon extraordinaire, les portées des ponts de section droite en béton précontraint. On procède actuellement à la construction du pont de Bendorf dont le tronçon central est de 208 m.

Ce système fut utilisé pour la première fois au Brésil pour la construction d'un pont en béton armé normal sur la Peixe, puis tomba en désuétude—sauf pour quelques cas très rares—jusqu'à ce qu'il fut remis au point, vingt ans plus tard, par Firsterwalder pour le pont en béton précontraint sur le Neckar. Grâce à cette nouvelle technique on arrivait à tirer profit de tous les avantages du système unis à une grande rapidité de construction.

Ce système constructif conduit directement au type structural en consoles compensées, formant des cellules T qui s'enlacent entre elles par articulation glissante pour former des tronçons de portée double que celle des consoles, mais il peut s'appliquer à presque tous les types: linteau en porte-à-faux (ce fut la première des nouvelles applications), portique d'une seule portée, portique en T, tronçons continus, etc.

La façon typique est d'avancer avec le coffrage ancré et en saillie sur la partie construite, à un rythme de module hebdomadaire d'environ 3,50 m de long. On peut également procéder à l'aide de douelles préfabriquées qui s'appliquent successivement contre celles déjà construites.

## **Construction of Prestressed Bridges by Successive Cantilevering**

C. Fernández Casado, civil engineer.

The system of construction whereby successive extensions of a cantilevered structure are carried out has made it possible to extend, to an extraordinary extent, the free spans of straight section prestressed concrete bridges. At present the Bendorf bridge is being constructed, whose central span is 208 m long.

This system was first used in Brazil, for the construction of an ordinary reinforced concrete bridge over the river Peixe. But the method fell into disuse, except for very few exceptions, until Firsterwalder again brought it up to date 20 years later, when building the Neckar bridge, made of prestressed concrete. With this new technique all the advantages of the system could be exploited, as well as achieving a very rapid construction.

This constructional procedure leads directly to the structural type known as compensated cantilevers. T shaped cells are attached together by means of prestressing cables to form advancing cantilevers. Thereby a total bridge structure is formed, whose span is twice that of each cantilevered half. This method can be applied to other bridge types, such as dintel with overhanging sections (this was the first new application), single span portal frames, T portal frames, continuous beams, etc.

The typical constructional method is to move the formwork, which is anchored and cantilevered beyond the constructed part. A weekly progress of 3,50 m is normal. It is also possible to employ prefabricated sections, which are successively joined to the ones already in place.

## **Ausführung vorgespannter Brücken durch aufeinanderfolgende Auskragungen**

C. Fernández Casado, Bauingenieur.

Das Bausystem durch aufeinanderfolgende Auskragungen hat erlaubt, die Lichtweiten der Brücken gerader Linienführung aus Spannbeton ausserordentlich zu erweitern. Zur Zeit wird die Brücke von Bendorf mit einem Mittelabschnitt von 208 m erbaut.

Erstmalig wurde dieses in Brasilien zum Bau einer Brücke über den Peixe aus normalem Stahlbeton angewendet, jedoch blieb es dann ausser Gebrauch—abgesehen von ganz wenigen Ausnahmen—bis Firsterwalder 20 Jahre später bei der Brücke über den Neckar aus Spannbeton neuerdings darauf zurückkam. Mit dieser neuen Technik wurden alle Vorteile des Systems, sowie eine grosse Baugeschwindigkeit, erzielt.

Das Bausystem führt direkt zu der Gefügeart der ausgeglichenen Auskragungen, indem T-Zellen gebildet werden, welche untereinander mit einem Gleitgelenk verbunden werden, wodurch mit den Auskragungen Oeffnungen mit doppelter Lichtweite gebildet werden. Jedoch kann man dies auf fast alle übrigen Arten anwenden: Oberschwellen mit Auskragung (was die erste neue Anwendung war), Rahmen mit einer einzigen Oeffnung, T-Rahmen, durchgehende Felder, u. s. w.

Die typische Bauweise ist, mit der Schalung, welche verankert wird und über den erbauten Teil vorkragt, fortzuschreiten, indem man einen wöchentlichen Modul-Rhythmus von etwa 3,50 m Länge einhält; man kann aber auch mit vorgefertigten Balkenstücken vorgehen, welche nach und nach an die bereits eingebauten angefügt werden.